УДК 631.363.7

РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КОРМОВИХ ГРАНУЛ

Сергій Гордієнко, Владислав Горбачик, Денис Капуста

Здобувачі вищої освіти спеціальності Н7 Агроінженерія

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: *У роботі розглянуто питання розрахунку конструктивних і технологічних параметрів обладнання для виробництва кормових гранул. Обґрунтовано основні елементи гранулятора, що визначають продуктивність, якість гранулювання та енергоефективність процесу. Наведено залежності для визначення продуктивності, потужності привода, питомих енергетичних витрат, швидкості обертання робочого органу та основних геометричних параметрів матриці. Встановлено, що раціональне співвідношення діаметра матриці, її товщини, діаметра отворів і частоти обертання робочого органу дає змогу забезпечити стабільне формування гранул необхідної щільності та міцності. Запропонований підхід може бути використаний під час проєктування та модернізації обладнання для виробництва комбікормів і гранульованих кормових продуктів.*

Ключові слова: *кормові гранули, гранулятор, матриця, конструктивні параметри, продуктивність, потужність привода, енергоефективність, комбікорм, гранулювання.*

Виробництво кормових гранул є одним із ефективних способів підготовки кормової сировини до згодовування, оскільки гранулювання забезпечує однорідність кормової суміші, зменшує її розшарування під час транспортування та зберігання, підвищує зручність дозування і сприяє раціональному використанню кормових компонентів. Ефективність технологічного процесу значною мірою залежить від конструкції гранулятора та правильного вибору його основних параметрів [1, 2].

Типова технологічна схема виробництва гранул передбачає підготовку та подрібнення сировини, дозування і змішування компонентів, кондиціювання суміші, пресування через отвори матриці, різання сформованих гранул, охолодження та, за необхідності, сортування готової продукції. Найбільш енергоємною операцією є пресування, під час якого кормова суміш ущільнюється і продавлюється крізь отвори матриці [3, 4].

Основними робочими елементами гранулятора є матриця, пресувальні ролики, механізм привода, завантажувальна камера та пристрій для різання гранул. Конструктивні параметри цих елементів повинні забезпечувати необхідний ступінь ущільнення сировини за мінімальних питомих енергетичних витрат [5, 6].

Одним із основних показників обладнання є його продуктивність. За експериментального або розрахункового визначення продуктивність можна визначити за залежністю

$$Q = \frac{m}{t},$$

де (Q) - продуктивність гранулятора, кг/год; (m) - маса отриманих гранул, кг; (t) - час роботи обладнання, год.

Для оцінювання ефективності використання електричної енергії визначають питомі енергетичні витрати:

$$e = \frac{N}{Q},$$

де e - питомі енергетичні витрати, кВт·год/т; N - потужність привода, кВт; Q - продуктивність, т/год.

Під час проєктування гранулятора необхідно визначити необхідну потужність електродвигуна. Орієнтовно її можна визначити через крутний момент і частоту обертання робочого органу:

$$N = \frac{2\pi n M}{60\eta},$$

де N - потужність привода, Вт; n - частота обертання, об/хв; M - крутний момент на валу, Н·м; η - загальний ККД привода.

Крутний момент, необхідний для роботи гранулятора, визначається як:

$$M = Fr,$$

де F - сумарна сила опору пресуванню, Н; r - радіус прикладання сили, м.

Важливим конструктивним параметром є діаметр отворів матриці \(d\), який визначає діаметр отримуваних гранул. Зі збільшенням діаметра отворів збільшується продуктивність пресування, однак змінюються щільність, міцність та характеристики готових гранул. Геометричне співвідношення довжини каналу пресування до його діаметра можна представити як:

$$\lambda = \frac{L}{d},$$

де L - довжина пресувального каналу матриці, мм; d - діаметр каналу, мм.

Значення коефіцієнта ƛ впливає на ступінь ущільнення кормової суміші та опір її проходженню через матрицю. Надмірне збільшення довжини каналу може призвести до зростання опору пресуванню та енергоспоживання, тоді як недостатня довжина може зумовити недостатнє ущільнення і зниження міцності гранул.

Кількість робочих отворів матриці можна оцінити через її робочу площу:

$$z = \frac{A_{\text{р}}}{ad},$$

де z - кількість отворів; Ар - робоча площа матриці, мм²; а - коефіцієнт використання площі, що враховує відстань між отворами; d-діаметр отвору, мм.

Для кільцевої матриці робочу площу можна визначити як:

$$A_{\text{р}} = \frac{\pi}{4}\left(D^2_{\text{зов}} - D^2_{\text{вн}}\right),$$

де D зов і Dtext вн - відповідно зовнішній і внутрішній діаметри робочої частини матриці, мм.

Не менш важливим параметром є частота обертання матриці або пресувальних роликів. Лінійну швидкість робочої поверхні можна визначити за формулою

$$v = \frac{\pi D n}{60},$$

де v - лінійна швидкість, м/с; D - діаметр робочого органу, м; n - частота обертання, об/хв.

Зі збільшенням частоти обертання підвищується потенційна продуктивність обладнання, проте надмірна швидкість може погіршувати умови заповнення пресувальних каналів, збільшувати навантаження на привод та негативно впливати на стабільність формування гранул. Тому частоту обертання необхідно визначати з урахуванням властивостей сировини, діаметра отворів матриці, вологості суміші та необхідної продуктивності.

Якість готових гранул характеризується їх густиною та механічною міцністю. Середню густину гранул визначають за співвідношенням:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

де ρ - густина гранул, кг/м³; m - маса зразка, кг; V - його об'єм, м³.

Для оцінювання механічної стійкості гранульованого корму може використовуватися коефіцієнт міцності:

$$K_{\text{м}} = \frac{m_{\text{ц}}}{m_0} \cdot 100,$$

де Км — показник міцності, %; m0— початкова маса гранул, г; mц— маса цілих гранул після випробування, г.

Таким чином, вибір конструктивних параметрів обладнання необхідно здійснювати комплексно, враховуючи не лише продуктивність, а й якість готового продукту та енергетичні витрати. Раціональними напрямами удосконалення є оптимізація діаметра і товщини матриці, кількості та геометрії пресувальних каналів, частоти обертання робочих органів, системи подавання сировини та потужності привода.

Для узагальненої оцінки конструкції доцільно використовувати багатокритеріальний критерій оптимізації:

$$F = f(Q, e, K_{\text{м}}, \rho) \rightarrow \min / \max,$$

де Q - продуктивність; e - питомі енергетичні витрати; Км - міцність гранул; ρ - їх густина.

Оптимальним є таке поєднання конструктивних параметрів, за якого забезпечується необхідна продуктивність обладнання та якість гранул за мінімальних енергетичних витрат.

Розрахунок конструктивних параметрів обладнання для виробництва кормових гранул повинен базуватися на комплексному врахуванні продуктивності, енергетичних витрат, характеристик сировини та вимог до готового продукту.

Основними параметрами, що визначають ефективність роботи гранулятора, є діаметр і товщина матриці, діаметр та довжина пресувальних каналів, кількість робочих отворів, частота обертання робочих органів і потужність привода. Раціональний вибір зазначених параметрів дає змогу підвищити продуктивність обладнання, знизити питомі енергетичні витрати та забезпечити необхідну міцність і густину кормових гранул.

Перспективним напрямом подальших досліджень є експериментальне визначення оптимальних режимів гранулювання для різних видів кормової сировини та розроблення математичної моделі для автоматизованого керування процесом.

Список використаних джерел

1. Abbas B. A., Jasim A. A., Bander L. K. Effect of speed and die holes diameter in the machine on feed pellets quality. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1252. 012116. DOI: 10.1088/1755-1315/1252/1/012116.

2. Abbas B. A., Jasim A. A., Bander L. K. Effect of holes diameter and speed of die on the performance of machine and feed pellet quality. Al-Qadisiyah Journal for Agriculture Sciences. 2024. Vol. 14, No. 2. P. 59–68. DOI: 10.33794/qjas.2024.154582.1191.

3. Bastiaansen T. M. M., Benders R. T., Dijksman R. T., Thomas M., Hendriks W. H., de Vries S., Bosch G. Changes in thermomechanical properties of feed in relation to composition and their effect on pellet manufacturing. Animal Feed

Science and Technology. 2023. Vol. 295. Article 115540. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2022.115540.

4. Gulizia J. P., McConnell A. D., Strobeck R. E., Broadwater C. M., Guzman E. G., Simões C. T., Downs K. M. Applied Research Note: The impact of retention time during the conditioning process of a broiler starter diet on performance, apparent metabolizable energy, and apparent ileal digestibility of nutrients. Journal of Applied Poultry Research. 2024. Vol. 33, No. 3. Article 100435. DOI: 10.1016/j.japr.2024.100435.

6. Effects of conditioning temperature and pellet mill die speed on pellet quality and relative stabilities of phytase and xylanase. Poultry Science. 2021. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101316.

7. Thomas M., van Zuilichem D. J., van der Poel A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed. Animal Feed Science and Technology. 2021–2022.

The paper considers the calculation of structural and technological parameters of equipment for feed pellet production. The main elements of a pelletizer that determine productivity, pellet quality, and energy efficiency of the process are substantiated. Relationships for determining productivity, drive power, specific energy consumption, working element rotational speed, and the main geometric parameters of the die are presented. It is established that a rational combination of die diameter, die thickness, hole diameter, and rotational speed makes it possible to ensure stable formation of pellets with the required density and strength. The proposed approach can be used for the design and modernization of equipment for the production of compound feeds and granulated feed products.

Keywords: feed pellets, pelletizer, die, structural parameters, productivity, drive power, energy efficiency, compound feed, pelletizing.

Науковий керівник:

Горбенко О.А.

Канд. техн. наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет